



QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR DANS LES BÂTIMENTS. SÉANCE 2

Les polluants de l'air intérieur

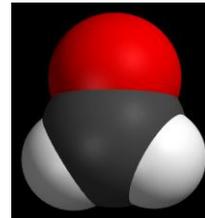
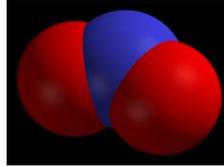
Thierry DUFORESTEL, EDF R&D, Décembre 2022



VUE D'ENSEMBLE DES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUANTS

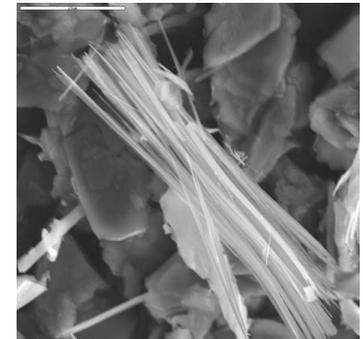
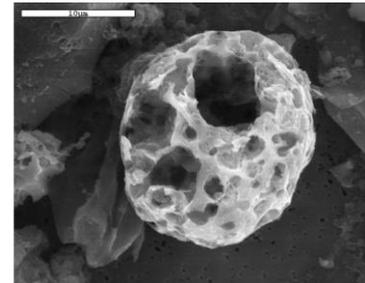
■ Polluants gazeux.

- Composés inorganiques.
- Radon.
- COV et aldéhydes.
- Cas particulier de la vapeur d'eau.



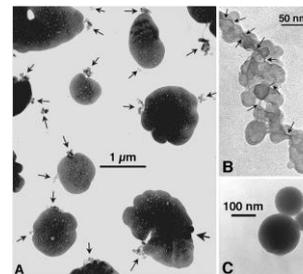
■ Polluants particulaires.

- Particules inertes
- Bio-contaminants



■ Les aérosols?

- Cas particulier des particules dont la vitesse de chute en air calme est négligeable.



LES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUANTS. 2 DOMAINES EN PRATIQUE TRÈS DIFFÉRENTS

- **Polluants gazeux.**

- Composés inorganiques.
- Radon.
- COV et aldéhydes.
- Cas particulier de la vapeur d'eau.

Domaine de la chimie
avec un peu de physique

- **Polluants particulaires.**

- Particules inertes
- Bio-contaminants

Domaine de la physique
avec un peu de biologie

- **Les aérosols?**

- Cas particulier des particules dont la vitesse de chute en air calme est négligeable.

En pratique, rares sont les
spécialistes des deux domaines

VUE D'ENSEMBLE DES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUANTS

- **Polluants gazeux.**
 - Composés inorganiques.
 - Radon.
 - COV et aldéhydes.
 - Cas particulier de la vapeur d'eau.
- **Participent à l'état thermodynamique de l'air.**
 - Loi des gaz parfaits.
 - $p_i = \rho_i \frac{R}{M_i} T$
 - Mélange idéal de gaz parfaits.
 - $p_t = \sum_i p_i$
 - Enthalpie massique de l'air.

VUE D'ENSEMBLE DES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUANTS

- Polluants particulaires.

- Particules inertes
- Bio-contaminants

- **Particules solides ou liquide.**

- **Ne participent pas à la loi des gaz parfaits.**

- **Sont caractérisés par leur taille (en général leur diamètre aérodynamique).**

LES POLLUANTS GAZEUX

- **Polluants gazeux.**

- Composés inorganiques.
- Radon.
- COV et aldéhydes.
- Cas particulier de la vapeur d'eau.



- **CO, NO_x, O₃.**
- **CO et No_x issus de diverses combustions (moteurs, cigarette, cuisson, encens, foyers ouverts ...).**
- **O₃ issu du fonctionnement des imprimantes et photocopieurs.**

LES POLLUANTS GAZEUX

- **Polluants gazeux.**

- Composés inorganiques.
- Radon.
- COV et aldéhydes.
- Cas particulier de la vapeur d'eau.



- **Rn222 à l'origine de la radioactivité « naturelle ».**
- **Activité caractérisée par son niveau volumique (Bq/m³).**
- **Niveaux « normaux » : 50 à 90 Bq/m³.**
- **L'UE estime qu'il faut envisager des mesures si le niveau d'activité volumique dépasse les 400 Bq/m³.**

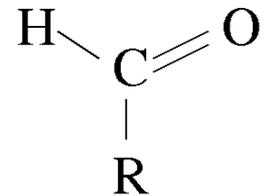
LES POLLUANTS GAZEUX

- **Polluants gazeux.**

- Composés inorganiques.
- Radon.
- COV et aldéhydes.
- Cas particulier de la vapeur d'eau.



- **Plusieurs centaines de composés à base de carbone et d'hydrogène, carbonylés (insertion de O) ou halogénés (insertion de Cl).**



- **Pressions de saturation très basses.**
- **Issus de combustions, du fonctionnement des appareils électroniques, de produits de nettoyage et de matériaux de construction et de décoration (surtout les colles).**

LES POLLUANTS GAZEUX

- **Polluants gazeux.**
 - Composés inorganiques.
 - Radon.
 - COV et aldéhydes.
 - Cas particulier de la vapeur d'eau.
- **Présente en grande quantité dans l'air intérieur (+ en été qu'en hiver).**
- **Le seul composant de l'air (autre que N₂ et O₂) qui n'est pas présent que sous forme de traces.**
- **Condensable aux températures ordinaires, adsorbable dans les poreux et présentant de nombreuses interactions avec les polluants.**

LES POLLUANTS PARTICULAIRES. L'IMPORTANCE DE LEUR TAILLE

- Polluants particuliers.

- Particules inertes
- Bio-contaminants

Ce qui semble sûr

- **Les tailles (diamètres aérauliques) des particules rencontrées dans l'air (particules en suspension) vont de 0,005 à 100 μm .**
- **Les particules > 10 μm ne peuvent pas être inhalées.**

CLASSEMENT PAR TAILLE DES POLLUANTS PARTICULAIRES

- **Polluants particulaires.**

- Particules inertes
- Bio-contaminants

- **Les particules en suspension PM10 :**

- Toutes les particules dont le diamètre aéraulique est inférieur à 10 μm .

- **Les particules fines PM2,5 :**

- Toutes les particules dont le diamètre aéraulique est inférieur à 2,5 μm .

Pénètrent dans les alvéoles pulmonaires

Peuvent passer la barrière « alvéolo-capillaire »

La membrane à travers laquelle l'oxygène passe dans le sang.

← ▪ **Les particules très fines PM1.**

← ▪ **Les particules ultrafines (ou nanoparticules) PM0,1.**

LES POLLUANTS PARTICULAIRES. L'IMPORTANCE DE LEUR TAILLE

- **Polluants particulaires.**
 - Particules inertes
 - Bio-contaminants
- **Les tailles (diamètres aérauliques) des particules rencontrées dans l'air (particules en suspension) vont de 0,005 à 100 μm .**
- **Les particules > 10 μm ne peuvent pas être inhalées.**
- **Celles > 2,5 ou 3 μm restent en périphérie du système respiratoire.**

Ce qui semble moins sûr

LES POLLUANTS PARTICULAIRES. L'IMPORTANCE DE LEUR TAILLE

- **Polluants particulaires.**

- Particules inertes
- Bio-contaminants

Ce qui semble moins sûr

- **Les tailles (diamètres aérauliques) des particules rencontrées dans l'air (particules en suspension) vont de 0,005 à 100 μm .**
- **Les particules > 10 μm ne peuvent pas être inhalées.**
- **Celles > 2,5 ou 3 μm restent en périphérie du système respiratoire.**
- **Celles < 0,01 μm se comportent comme des molécules (entrent et sortent du système respiratoire sans se fixer).**

VUE D'ENSEMBLE DES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUANTS

■ Polluants particulaires.

- Particules inertes
- Bio-contaminants

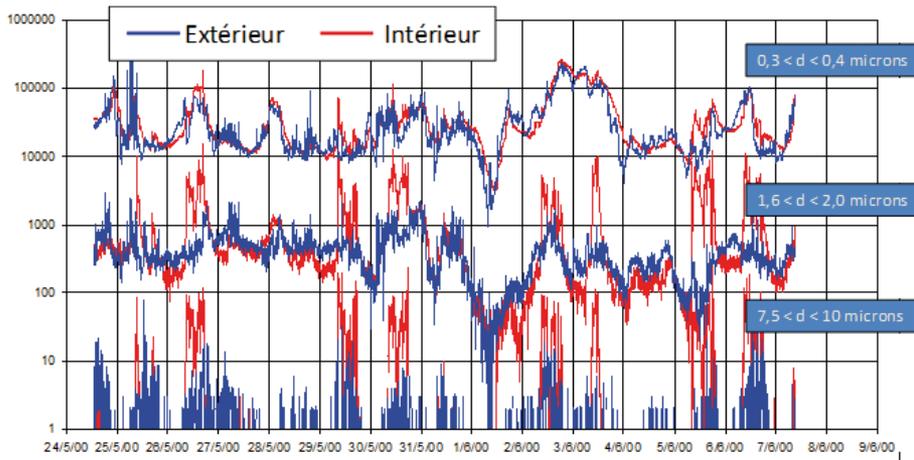


■ **Poussières et fibres diverses ayant une multitude d'origines.**

- Air extérieur
- Combustion
- Appareils électroniques
- Erosion des matériaux
- Laques et sprays

■ **Plus elles sont petites, plus elles sont nombreuses aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.**

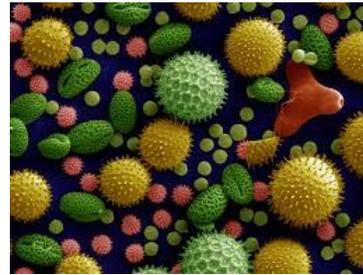
■ **Mais l'activité humaine à l'intérieur remet les plus grosses en suspension.**



VUE D'ENSEMBLE DES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUANTS

- **Polluants particulaires.**

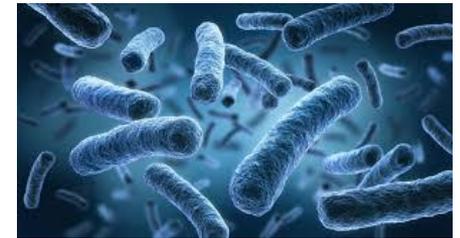
- Particules inertes
- Bio-contaminants



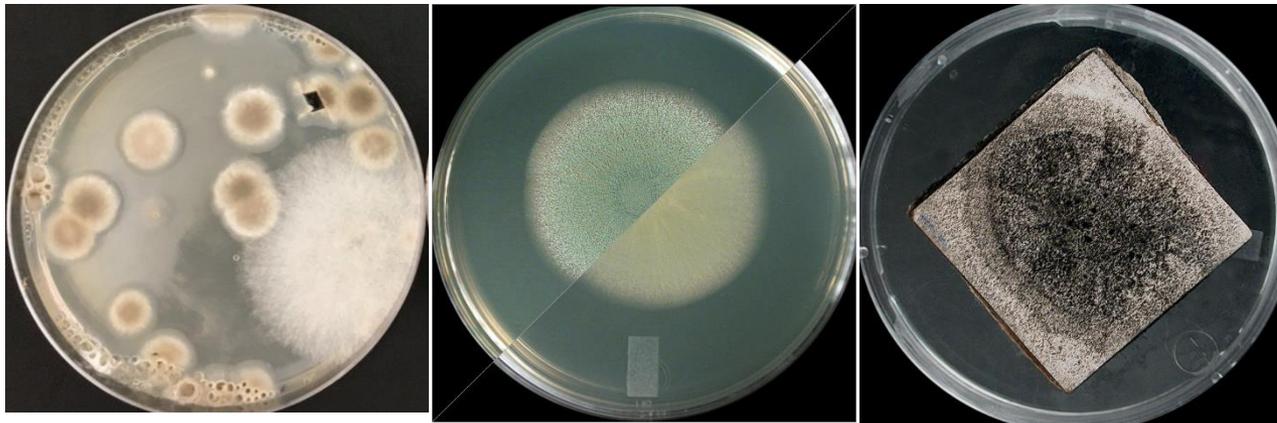
- **Virus et bactéries**

- **Allergènes**

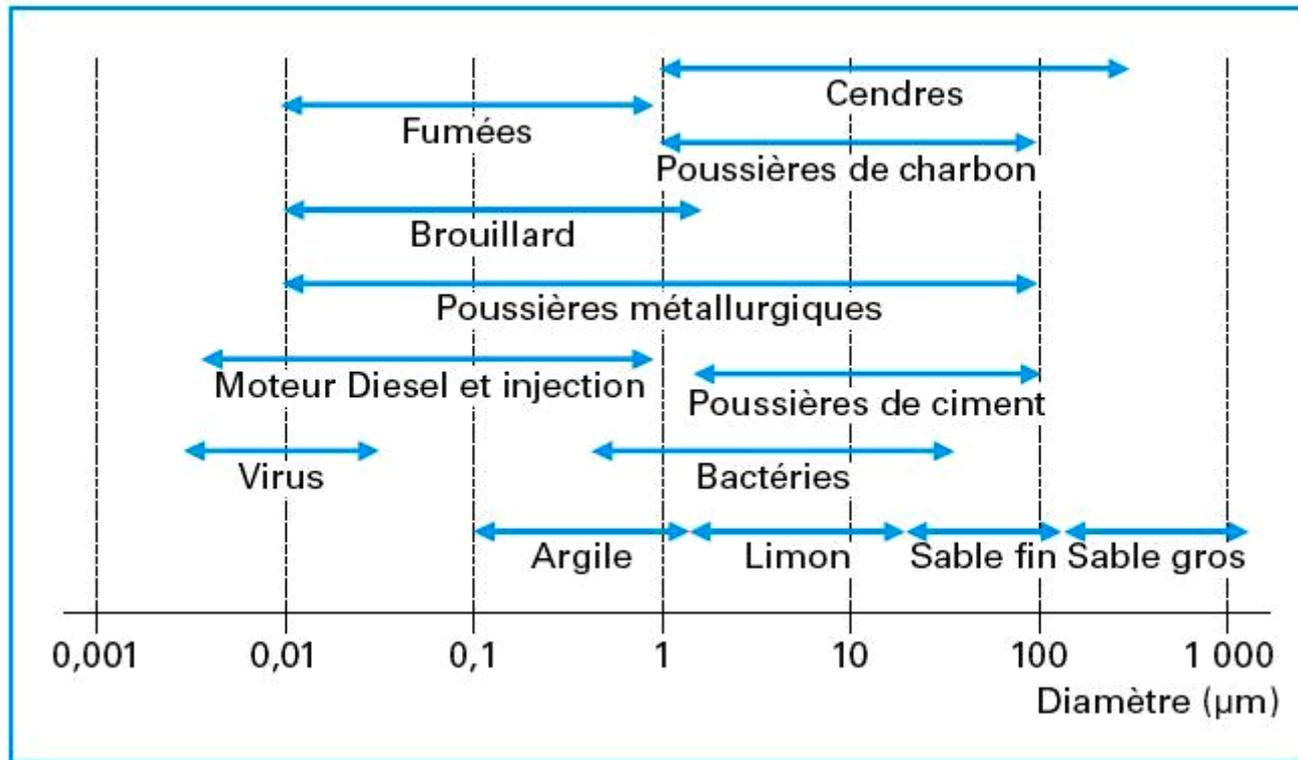
- Pollens
- Déjections d'acariens
- Animaux domestiques (surtout chats).



- **Moisissures**



RÉPARTITION PAR TAILLE DE QUELQUES TYPES DE PARTICULES



QUANTIFICATION DES POLLUANTS GAZEUX. UNITÉS.

- La mesure la plus courante est celle de la concentration volumique par analyse chimique (spectrométrie de masse).
- La grandeur la plus couramment utilisée est donc la concentration volumique C_x du gaz x exprimée en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (parfois en mg/m^3).
- Mais on utilise aussi le ppm (titre molaire en parts par million) ou ppb (part par milliard (Billion en anglais)).



QUANTIFICATION DES POLLUANTS PARTICULAIRES. UNITÉS.

- La mesure la plus courante consiste en un comptage optique des particules par gamme de tailles (puis captation et culture pour les bio-contaminants).
- La grandeur la plus couramment utilisée est donc le nombre de particules par unité de volume d'air n_p (m^{-3}).
- Cependant la concentration volumique C_p (en $\mu g/m^3$) peut aussi être employée.
- Pour les bactéries et moisissures, on comptabilise les unités qui forment des colonies en culture en CFU/m^3 . (Colony Forming Units)
- Remarque : Pour les deux types de polluants, on peut aussi employer le titre massique de polluant (en mg/g).



ORDRES DE GRANDEUR DES CONCENTRATIONS OBSERVÉES.

- Source : « Inventaire des données Françaises sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments ». OQAI. 2001.
- NO₂ : 15 à 47 µg/m³
- CO : 0 à 2 ppm
- Benzène : 6 à 100 µg/m³
- Formaldéhyde : 6 à 90 µg/m³
- Acétaldéhyde : 5 à 50 µg/m³
- Particules inertes : 25 à 200 µg/m³
- Bactéries : 170 à 800 CFU/m³
- Moisissures : 17 à 210 CFU/m³
- Allergènes de chat : 22 µg par g de poussière et 0,003 µg/m³.

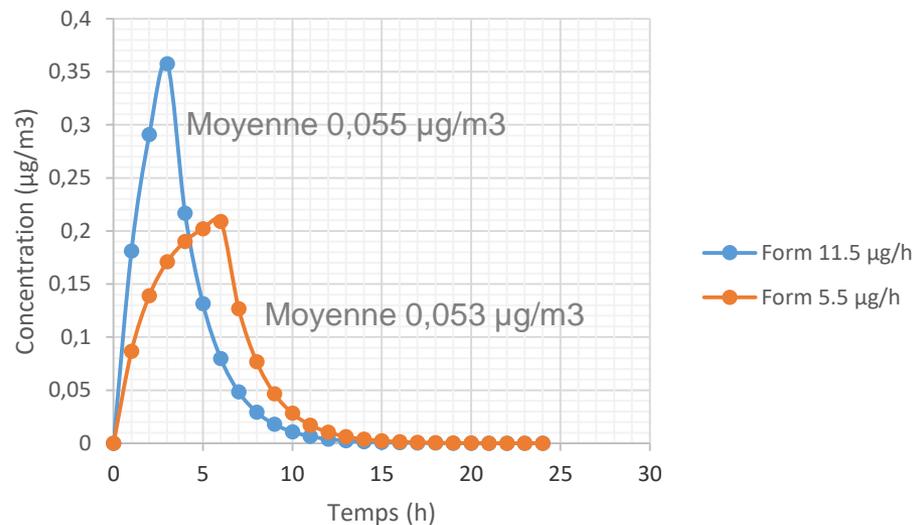
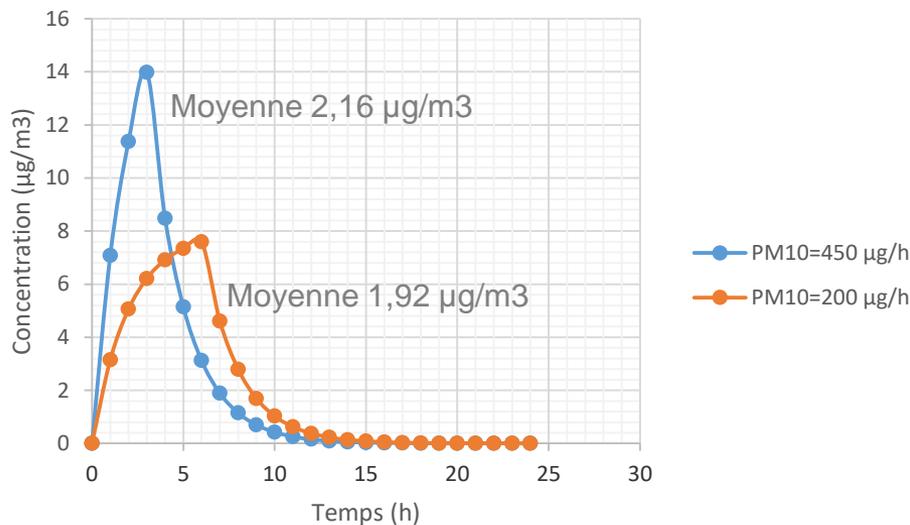


BOUGIE OU ENCENS?

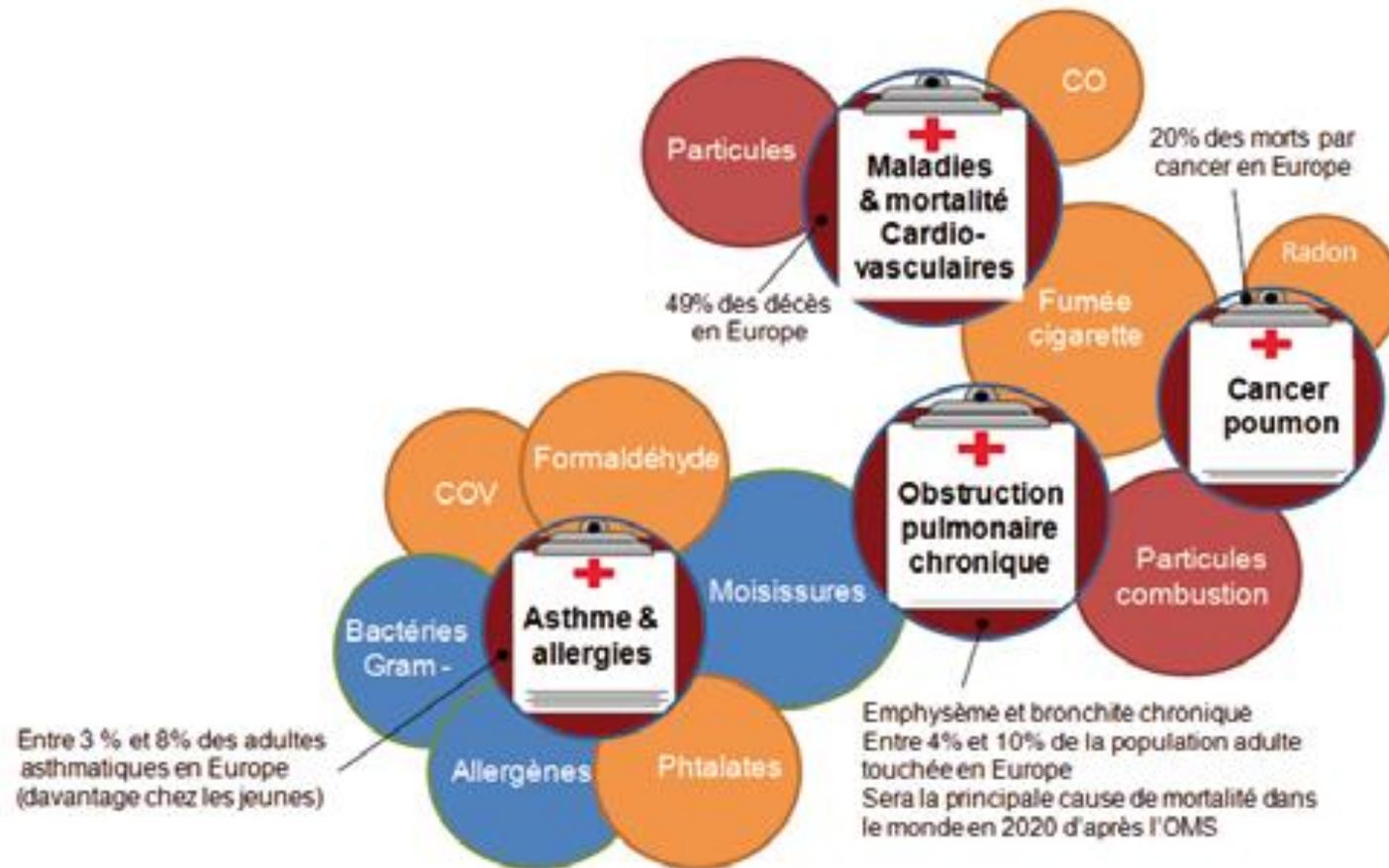
- Pour désodoriser une pièce de 20 m² (50 m³, taux de renouvellement d'air de 0,5 vol/h) on peut utiliser une bougie parfumée pendant 3 heures qui émet 450 µg/h de PM10 et 11,5 µg/h de formaldéhyde, ou un bâton d'encens pendant 6 heures qui émet 200 µg/h de PM10 et 5,5 µg/h de formaldéhyde.
- Quelle est la meilleure solution, en exposition chronique (sur 24 h) et en exposition aigue?

BOUGIE OU ENCENS?

- Pour désodoriser une pièce de 20 m² (50 m³, taux de renouvellement d'air de 0,5 vol/h) on peut utiliser une bougie parfumée pendant 3 heures qui émet 450 µg/h de PM10 et 11,5 µg/h de formaldéhyde, ou un bâton d'encens pendant 6 heures qui émet 200 µg/h de PM10 et 5,5 µg/h de formaldéhyde.
- Quelle est la meilleure solution, en exposition chronique (sur 24 h) et en exposition aigue?



IMPACT DES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUANTS.



IMPACT DES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUANTS.

- Cela reste très qualitatif.
- L'impact des niveaux d'exposition, des mélanges et des sensibilités humaines suscite toujours de nombreuses interrogations.



LA FILTRATION DES DIFFÉRENTS TYPES DE POLLUANTS.

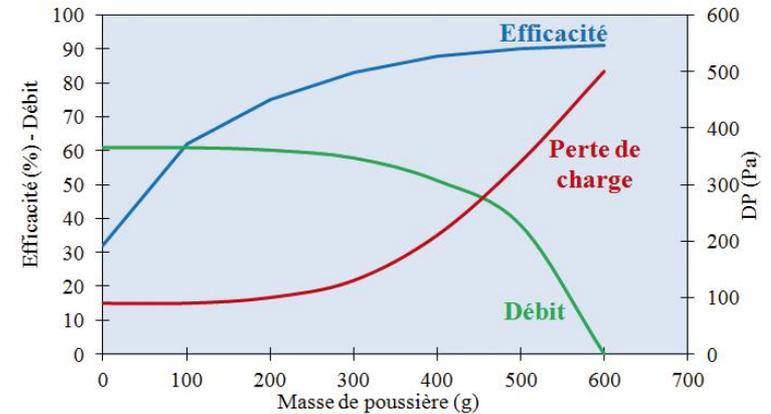
■ Filtres à particules

- Différents types (efficacité/taille; pertes de charge; colmatage).
- Mais un mode de fonctionnement universel.

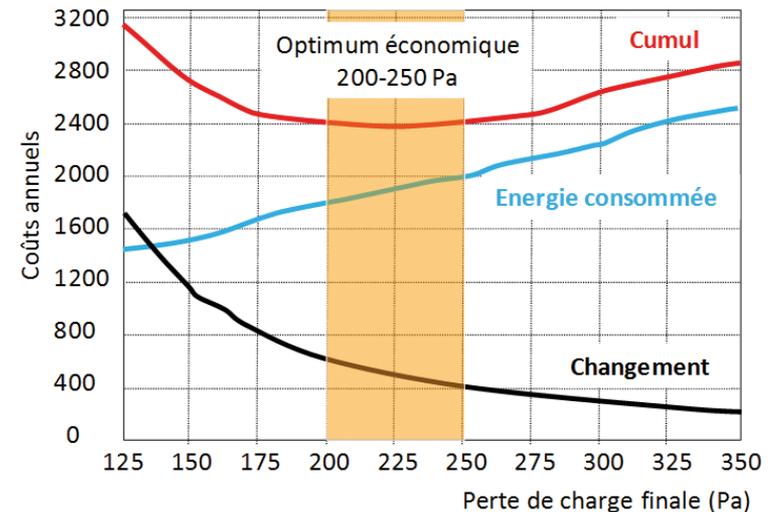
■ Filtres moléculaires

- Charbons actifs (en fibres ou grains).
- Zéolites, aérogels de silice.
- Fonctionnement par adsorption/désorption, donc :
 - Réversible.
 - Dépendant des concentrations, de la température et des autres polluants en compétition.

- Dans les deux cas, optimum à trouver entre coût énergétique (pertes de charge) et coût de remplacement du filtre



$$E(kWh) = \frac{Q \times \Delta P \times t}{3600 \times \eta \times 1000}$$



QUELQUES MOTS SUR L'ÉPURATION DE L'AIR INTÉRIEUR.

[http://www.hst.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/HST_ND%201867/\\$File/ND1867.pdf](http://www.hst.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/HST_ND%201867/$File/ND1867.pdf)

- Différentes techniques sont proposées pour les différents polluants cibles.
- Elles peuvent se décliner en « épurateurs » (autonomes ou intégrés aux réseaux de conditionnement d'air) ou en matériaux fonctionnalisés.
- Aucune garantie de bon fonctionnement pour l'heure (normes AFNOR et programmes de recherches en cours).
 - Efficacité
 - Innocuité
 - Impact énergétique

